

01.10.2004

REC'D 21 OCT 2004

WIPO PCT

PA 1195628

THE UNITED STATES OF AMERICA

~~TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:~~

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

July 19, 2004

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/509,997

FILING DATE: *October 10, 2003*

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS



P. R. GRANT
Certifying Officer

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

INVENTOR(S)

| Given Name (first and middle [if any]) | Family Name or Surname | Residence (City and either State or Foreign Country) | |
|--|------------------------|---|-------|
| Masato KOBAYAKAWA | | Chiba | Japan |
| Hideki TOMOZAWA | | Chiba | Japan |
| Mineo OKUYAMA | | Chiba | Japan |
| | | | |

☐ Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheet(s) attached hereto
TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)

NITRIDE SEMICONDUCTOR, LIGHT-EMITTING DEVICE, LIGHT-EMITTING DIODE, LASER DEVICE AND LAMP USING THE SEMICONDUCTOR, AND PRODUCTION METHODS THEREOF

CORRESPONDENCE ADDRESS

Direct all correspondence to the address for SUGHRUE MION, PLLC filed under the Customer Number listed below:

WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)

- Specification (Japanese Language) ☒ Number of Pages nine (9) ☐ CD(s), Number _____
- ☒ Drawing(s) Number of Sheets three (3) ☐ Other (specify) _____
- ☐ Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76

METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT
☒ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.

☒ A check or money order is enclosed to cover the Provisional filing fees. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.

☐ The USPTO is hereby authorized to charge the Provisional filing fees to our Deposit Account No. 19-4880. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.
**FILING FEE
AMOUNT (\$)****\$160.00**

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.

☒ No.

☐ Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are:

Respectfully submitted,

SIGNATURE

DATE October 10, 2003TYPED or PRINTED NAME Abraham J. RosnerREGISTRATION NO. 33,276TELEPHONE NO. (202) 293-7060DOCKET NO. P77895**USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT**

PATENT APPLICATION SERIAL NO. _____

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
PATENT AND TRADEMARK OFFICE
FEE RECORD SHEET

10/15/2003 HDEMESS1 00000082 60509997

01 FC:1005

160.00 OP

PTO-1556
(5/87)

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体、それを用いた発光素子、発光ダイオード、レーザー素子およびランプ並びにそれらの製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体、窒化物半導体発光素子、発光ダイオード、レーザー素子、ランプおよびそれらの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、短波長の光を発光する発光素子用の半導体材料として、窒化物半導体材料が注目を集めている。窒化物半導体は、一般にサファイア単結晶を始めとする種々の酸化物結晶やIII-V族化合物半導体結晶等を基板として、その上に有機金属気相化学反応法(MOCVD法)やエピタキシー法(MBE法)あるいは水素化物気相エピタキシー法(HVPE法)等によってn型層、発光層およびp型層等が積層される。

【0003】

現在、工業レベルで最も広く採用されている化合物半導体の結晶成長方法は、有機金属気相化学反応法(MOCVD法)である。この方法では、例えば、サファイア、SiC、GaN、AlN等の基板を設置した反応管内にIII族の有機金属化合物とV族の原料ガスを供給し、温度700℃～1200℃程度の領域でn型層、発光層およびp型層を成長させる。

【0004】

そして、各半導体層の成長後、基板もしくはn型層に負極を形成し、p型層に正極を形成することによって発光素子を得ることができる。

【0005】

従来の発光層は、発光波長を調整する為に組成を調整したInGaNを用い、これをInGaNよりバンドギャップの高い層で挟むダブルヘテロ構造や、量子井戸効果を使う多重量子井戸構造が使われている。

【0006】

従来の多重量子井戸構造については、例えば、III-V族のGaN系発光素子であるInGaN-GaNからなる量子井戸構造が知られている(非特許文献1)。この量子井戸構造の成長方法については、まず基板温度を1000℃に保持し、高温での障壁層を形成し、続いて基板温度を下げて保持し、InGaNからなる井戸層を形成する。そして、前記障壁層と前記井戸層を交互に成長し、発光層を形成している。

【0007】

同種の技術において、昇温しながら障壁層を成長させること、積層中に高速で成長させること、およびキャリアを窒素から水素へ変更すること等が知られている(特許文献1)。この技術では発光効率の向上、発光層の形成時間の短縮化により製造コストを低減すること、および昇温しながら成長することによるInの昇華防止などを優位としている。

【0008】

上述の方法で積層した発光素子は、逆耐圧(P-N接合を持つ発光素子に対し、逆方向に10μAの電流を流すために必要とする電圧の絶対値)のエージング(発光素子に対し順方向に30mAの電流を流し、一定時間保持の前後で発光素子の逆耐圧を測定、本明細書に記載の実験では、0時間、20時間、40時間後に測定を行っている)において経時的に劣化を起こすという問題がある。

【0009】

また、上記従来技術に開示された方法で積層した発光素子では、所望する発光強度に足りず、さらなる高効率化が望まれている。

【0010】

【特許文献1】特開2002-43618号公報

【非特許文献1】エフ・ショルツ(F.Scholz)等、「GaN-InN-GaN多重量子井

戸構造の構造特性の研究 (Investigation on Structural Properties of GaInN-GaN Multi Quantum Well Structures)」、phys.stat.sol.(a)、第180巻、2000年、p. 315

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の目的は、逆耐圧が経時劣化を起こさず、初期の良好な逆耐圧を維持する窒化物半導体素子を提供することである。

【0012】

また、本発明の別の目的は、良好な発光強度を有し、効率の良い窒化物半導体を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は下記の各発明を提供する。

(1) 基板上に窒化物半導体からなるn型層、発光層およびp型層をこの順で含み、発光層は井戸層を該井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい障壁層で挟んだ量子井戸構造を含み、該障壁層は井戸層よりも高温で成長させた障壁層Cおよび障壁層Cよりも低温で成長させた障壁層Eを含み、障壁層Cは障壁層Eに対して基板側に位置することを特徴とする窒化物半導体。

【0014】

(2) 障壁層が障壁層Cよりも低温で成長させた障壁層Aをさらに有し、障壁層A、障壁層C、障壁層Eの順序で積層されていることを特徴とする上記(1)記載の窒化物半導体。

【0015】

(3) 障壁層が障壁層Cよりも低温で成長させた障壁層Bを障壁層Aと障壁層Cとの間に有することを特徴とする上記(2)に記載の窒化物半導体。

【0016】

(4) 障壁層が障壁層Cよりも低温で成長させた障壁層Dを障壁層Cと障壁層Eとの間に有することを特徴とする上記(1)～(3)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0017】

(5) 障壁層Cの成長温度と井戸層の成長温度との差が50℃以上であることを特徴とする上記(1)～(4)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0018】

(6) 障壁層Cの成長温度と障壁層Eの成長温度との差が50℃以上であることを特徴とする上記(1)～(5)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0019】

(7) 障壁層Cの成長温度と障壁層Aの成長温度との差が50℃以上であることを特徴とする上記(2)～(6)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0020】

(8) 井戸層の成長温度が600℃以上1000℃以下であることを特徴とする上記(1)～(7)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0021】

(9) 井戸層がGaInNからなることを特徴とする上記(1)～(8)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0022】

(10) 障壁層がGaInNまたはGaNからなることを特徴とする上記(1)～(9)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0023】

(11) 井戸層および障壁層から選ばれた少くとも一種がSiドーパされていることを特徴とする上記(1)～(10)のいずれか一項に記載の窒化物半導体。

【0024】

(12) 上記(1)～(11)のいずれか一項に記載の窒化物半導体のn型層に負極を設け、かつp型層に正極を設けた窒化物半導体発光素子。

(13) 上記(1)～(11)のいずれか一項に記載の窒化物半導体を用いている発光ダイオード。

(14) 上記(1)～(11)のいずれか一項に記載の窒化物半導体を用いているレーザー素子。

(15) 上記(1)～(11)のいずれか一項に記載の窒化物半導体を用いているランプ。

【0025】

(16) 基板上に窒化物半導体からなるn型層、量子井戸構造の発光層、およびp型層を順次積層させて量子井戸構造を有する窒化物半導体を製造する際に、量子井戸構造における障壁層の成長を、井戸層成長後昇温して井戸層よりも高温で成長させた後に降温し、降温された状態でさらに障壁層の成長を行なうことを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【0026】

(17) 昇温前にも障壁層の成長を行なうことを特徴とする上記(16)に記載の窒化物半導体の製造方法。

【0027】

(18) 昇温および降温中の少くとも一の工程において障壁層を成長させることを特徴とする上記(16)または(17)に記載の窒化物半導体の製造方法。

(19) 上記(1)～(11)のいずれか一項に記載の窒化物半導体の発光層およびp型層の一部を除去してn型層を露出させる工程、露出したn型層に負極を設ける工程およびp型層に正極を設ける工程からなる窒化物半導体発光素子の製造方法。

(20) 上記(12)に記載の窒化物半導体発光素子にリード線を設ける工程を含む発光ダイオードの製造方法。

(21) 上記(12)に記載の窒化物半導体発光素子にリード線を設ける工程を含むレーザー素子の製造方法。

(22) 上記(12)に記載の窒化物半導体発光素子に蛍光体を有するカバーを設ける工程を含むランプの製造方法。

【発明の効果】

【0028】

本発明によれば、井戸層の成長に適した基板温度で井戸層を成長した後に、障壁層の成長温度を制御することにより、半導体の結晶性に優れ、発光効率が高く、逆耐圧特性の劣化が少ない窒化物半導体発光素子を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

本発明は、基板上に窒化物半導体からなるn型層、発光層およびp型層を有し、発光層が井戸層と前記井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい障壁層とを有する量子井戸構造の窒化物半導体において、その量子井戸構造を特定の温度条件で製造することを特徴とする。

【0030】

図1は、本発明の一例である実施例1における窒化物半導体発光層の量子井戸構造成長温度プロファイルを示す図である。この成長温度プロファイル中、井戸層(6)に引き続いて低温で成長開始される障壁層(1)を以降「障壁層A」、昇温過程で成長される障壁層(2)を「障壁層B」、高温で実質的に保持されながら成長される障壁層(3)を「障壁層C」、温度降下中に成長される障壁層(4)を「障壁層D」、温度降下後に実質的に低温に保持させながら成長する障壁層(5)を「障壁層E」と表記する。

【0031】

本発明の窒化物半導体において、その組成はn型層、発光層およびp型層の各層において従来公知の如何なる組成のものも使用できる。通常、一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ (

$0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq x + y < 1$) で表わされる組成のものが、各層においてそれぞれ特定の組成比で用いられる。n 型層および p 型層には一般式 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y < 1$) で表わされる組成が好ましい。その構造も従来公知の如何なる構造のものでも使用できる。通常の構造としては、発光層を p 型層と n 型層で挟む構造を持ち、p 型層、n 型層の一部に電極を設けるコンタクト層を設けても良い。p 型層と n 型層に接した電極から電流の注入を行い発光させる。

【0032】

本発明の窒化物半導体において、基板には、サファイア、SiC、GaN、AlN、Si、ZnO 等その他の酸化物基板等従来公知の如何なるものでも使用できる。好ましくはサファイアである。基板上に窒化物半導体をエピタキシャル成長させるために、バッファ層 (GaN バッファ、AlN バッファ、SiN バッファ、AlGaN バッファ等) を設けておいてもよい。

【0033】

本発明の窒化物半導体において、発光層はバンドギャップエネルギーの小さい井戸層をバンドギャップエネルギーの大きい障壁層で挟み込んだ量子井戸構造が好ましい。井戸層と障壁層からなる量子井戸構造のペア数 (井戸層および障壁層の組を 1 ペアとする) としては、特に制限はないが、通常は 1 から 100、好ましくは 1 から 50、より好ましくは 1 から 20 である。100 より大きいと通常生産性が落ちるので好ましくない。

【0034】

井戸層の組成は $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($0 \leq x1 \leq 0.5$) が所望の波長を得るために好ましい。障壁層の組成は $In_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($0 \leq x2 < x1$) がキャリアの閉じ込め効果の点で好ましい。 $x1$ と $x2$ との差 ($x1 - x2$) は 0.01 より大きいことが好ましく、0.05 より大きいとさらに好ましい。この差が 0.01 より小さいとキャリアの閉じ込めができない。また、 $x2$ は 0.1 より小さいことが特に好ましい。

【0035】

本発明において、障壁層を形成させる際の温度は重要である。本発明の障壁層は、井戸層よりも高い温度で形成された障壁層 C および障壁層 C よりも低温で形成された障壁層 E の少なくとも 2 層がこの順序で積層されている。これらの層のどちらかを欠くと逆耐圧特性の経時劣化を防ぎ得ない。

【0036】

井戸層の温度範囲は 600℃ から 1000℃ が好ましく、さらに好ましくは 650℃ から 950℃ であり、特に好ましくは 700℃ から 800℃ である。井戸層の温度が 600℃ より低い場合には結晶性の悪化を招き、温度が 1000℃ 以上の場合には所望の In 濃度を得ることが出来ない。障壁層 C の温度範囲は 650℃ から 1300℃ が好ましく、さらに好ましくは 700℃ から 1250℃ であり、特に好ましくは 750℃ から 1200℃ である。障壁層 C の温度が 650℃ より低い場合は結晶性の悪化を招き、1300℃ 以上の場合には井戸層へのダメージが懸念される。障壁層 E の温度範囲は 600℃ から 1250℃ が好ましく、さらに好ましくは 650℃ から 1000℃ であり、特に好ましくは 700℃ から 900℃ である。障壁層 E の温度が 600℃ より低い場合は半導体の結晶性が悪化するため好ましくない。1200℃ 以上の場合には逆耐圧特性の経時劣化を防ぎ得ない。

【0037】

井戸層と障壁層 C の温度差としては、実効温度で 50℃ 以上 300℃ 以下が好ましく、さらに好ましくは 100℃ 以上であり、特に好ましくは 150℃ 以上である。また、障壁層 C と障壁層 E の温度差としても、実効温度で 50℃ 以上 300℃ 以下が好ましく、さらに好ましくは 100℃ 以上であり、特に好ましくは 150℃ 以上である。井戸層と障壁層 C の温度差もしくは障壁層 C と障壁層 E の温度差が 50℃ 以下では本発明による高発光効率は得られず、エージングによる逆耐圧の低下防止効果も弱くなる。さらに温度差が 300℃ 以上の場合には井戸層にダメージを与え、発光効率が低くなる。

【0038】

また、障壁層 C および E を成長させる際に、温度を変更しつつ (例えば障壁層 C を一定

温度に保たず変温させながら) 成長することによっても、障壁層 C の温度が障壁層 E の温度よりも高い限り、同様に優れた発光効率と逆耐圧の低下防止効果が得られる。

【0039】

さらに、障壁層 C よりも低温で成長させた障壁層 A を、障壁層 C の手前に設けた障壁層 A、障壁層 C および障壁層 E がこの順序で積層した 3 層構造にすると、高い発光強度が得られるので好ましい。この場合、障壁層 A の温度および障壁層 C との温度差の好ましい範囲は、障壁層 E の場合の好ましい範囲と同様である。

【0040】

また、障壁層 C を形成するための昇温工程および障壁層 E を形成するための降温工程においても障壁層を成長させて、それぞれ障壁層 B および障壁層 D を形成してもよい。障壁層 B および障壁層 D を形成させた場合、高い発光強度が得られるので好ましい。

【0041】

本発明による量子井戸構造をなすために適当な井戸層の膜厚範囲は 1 nm から 8 nm が好ましく、さらに好ましくは 1 nm から 6 nm であり、特に好ましくは 1 nm から 4 nm である。1 nm 未満では良い発光強度が得られないので好ましくなく、8 nm より大きいと井戸層の閉じ込め効果が得られないので好ましくない。障壁層 A ~ E の合計膜厚範囲は 3 nm から 40 nm が好ましく、さらに好ましくは 3 nm から 30 nm であり、特に好ましくは 3 nm から 20 nm である。40 nm より大きいと順方向の電流特性に悪影響を及ぼすため好ましくない。3 nm 未満ではキャリアの閉じ込め効果が不十分となるので好ましくない。障壁層 C および障壁層 E の厚さはそれぞれ少なくとも 1 nm あることが好ましい。障壁層 C が 1 nm より小さいと発光強度が十分でなく、障壁層 E が 1 nm より小さいと逆耐圧の経時劣化防止効果が十分でない。他の障壁層の厚さは、障壁層全体が上記の範囲に入るように適宜決めればよい。

【0042】

本発明の窒化物半導体を作る方法としては、有機金属気相成長 (MOCVD) 法が好ましいが、他に分子線エピタキシー法 (MBE 法) あるいは水素化物気相エピタキシー法 (HVPE 法) 等従来公知の如何なる方法を用いてもよい。

【0043】

MOCVD 法はこの技術分野でよく知られており、従来公知の如何なる条件で行なってもよい。

【0044】

例えば、キャリアガスとして水素または窒素を用いて、窒素源としてアンモニア (NH_3) またはヒドラジンを用いることができる。III 族元素源としては、トリメチルガリウム (TMG)、トリエチルガリウム (TEG)、トリメチルアルミニウム (TMA) およびトリメチルインジウム (TMI) 等を用いることができる。これら原料ガスの圧力は用いる装置によって異なるが一般に 20 kPa ~ 120 kPa である。

【0045】

また、N 型ドーパントとしては、モノシラン (SiH_4) またはゲルマン (GeH_4) を用いることができ、P 型ドーパントとしてはジメチル亜鉛 ($\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$) またはシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を用いることができる。

【実施例】

【0046】

以下に、本発明に係わる窒化物半導体について実施例に基づいて説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0047】

(実施例 1)

本実施例 1 では、MOCVD 法を用いて、サファイア基板上にバッファ層および n 型層を形成し、その上に多重量子井戸構造を積層させ、さらに Mg をドーブした p 型 GaN 層を積層して窒化物半導体を作製した。

【0048】

上記のGa_{0.99}N層を含む窒化物半導体の作製は、MOCVD法を用いて以下の手順で行なった。まず、サファイア基板を、誘導加熱式ヒータのRFコイルの中に設置された石英製の反応炉の中に導入した。サファイア基板は、加熱用のカーボン製サセプター上に載置した。基板載置後、反応炉内を真空引きしてガスを排出し、窒素ガスを流通して反応炉内をパージした。窒素ガスを10分間に渡って流通した後、誘導加熱式ヒータを作動させ、10分をかけて基板温度を1170℃に昇温した。基板温度を1170℃に保ったまま、水素ガスと窒素ガスを流通させながら9分間放置して、基板表面のサーマルクリーニングを行った。サーマルクリーニングを行っている間に、反応炉に接続された原料であるトリメチルガリウム(TMG)、シクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)の入った容器(バブラ)の配管に水素キャリアガスを流通して、バブリングを開始した。各バブラの温度は、温度を調整するための恒温槽を用いて一定に調整しておいた。バブリングによって発生した原料の蒸気は、Ga_{0.99}N層の成長工程が始まるまでは、キャリアガスと一緒に除外装置への配管へ流通させ、除外装置を通して系外へ放出した。サーマルクリーニングの終了後、誘導加熱式ヒータを調節して基板の温度を510℃に降温し、窒素からなるキャリアガスのバルブを切り替え、反応炉内への窒素の供給を開始した。その10分後に、TMGの配管およびアンモニアガスの配管のバルブを切り替え、TMGとアンモニアを反応炉内へ供給し、Ga_{0.99}Nからなるバッファ層を基板上に形成した。約10分間に渡ってバッファ層の成長を行ったあと、TMGの配管のバルブを切り替えて、TMGの供給を停止し、バッファ層の成長を終了した。

【0049】

バッファ層を形成した後、n型層を積層した。まず、基板の温度を1060℃に昇温させた。昇温中、バッファ層が昇華しないように、キャリアガスである窒素と水素に加えてアンモニアガスを反応炉内に供給した。その後1150℃に昇温し、温度が安定したのを確認した後、TMGの配管のバルブを切り替え、これらの原料の蒸気を含む気体を反応炉内へ供給して、バッファ層上にGa_{0.99}N層の成長を行った。約1時間に渡って上記のGa_{0.99}N層の成長を行ったあと、SiH₄の配管バルブを切り替え、SiドーピングされたGa_{0.99}N層を約1時間に渡って成長させた。その後バルブ操作により、成長を中断し、800℃まで降温し、トリエチルガリウム(TEG)、トリメチルインジウム(TMI)およびアンモニアガスのバルブ操作によりIn_{0.04}Ga_{0.96}Nからなるクラッド層を成長させた。

【0050】

この後、本発明に関わる量子井戸構造の発光層を積層した。図1は本実施例に関わる量子井戸構造の温度の成長プロファイルを示す。

【0051】

基板1の温度を800℃に維持したまま、キャリアガスとして窒素(14リットル/分)を使用し、アンモニア(14リットル/分)およびTEG(30cc/分)を供給して、Ga_{0.99}Nからなる量子井戸構造の障壁層Aを1分間成長させた。その後1000℃まで2分間掛けて昇温させつつ、障壁層Bを成長させ、1000℃にて2分間保持しつつ障壁層Cを成長させた。その後800℃に2分間掛けて降温しながら障壁層Dを成長させ、最後に800℃で4分間保持しつつ障壁層Eを成長させた。(以後量子井戸構造の最初の障壁層を障壁層1と記載する、同様に最初の井戸層を井戸層1、次の障壁層を障壁層2、以下順次障壁層3, 4, 5とする。)

【0052】

その後800℃の温度を維持した状態でさらにTMI(30cc/分)を3分間供給し、In_{0.04}Ga_{0.96}Nからなる量子井戸構造の井戸層1を成長させた。

【0053】

同様の手順を5回繰り返すことで、井戸層5まで成長させた後、さらに障壁層6を成長させ、多重量子井戸構造を作成した。原料ガスの供給圧力は50kPaであった。

【0054】

このようにして、5層の井戸層からなる量子井戸構造を形成した後、温度を1,050℃まで加熱し、バルブ操作によりTMG、Cp₂Mgおよびアンモニアガスを供給し、p

型のGaN層を成長させて本発明の窒化物半導体を作成した。

【0055】

GaN層の成長を終了した後、誘導加熱式ヒータを制御して、基板の温度を室温まで20分掛けて降温した。降温中は、反応炉内の雰囲気成長中と同じようにアンモニアと窒素と水素から構成したが、基板の温度が400℃となったのを確認後、アンモニアと水素の供給を停止した。その後、窒素ガスを流通しながら基板温度を室温まで降温し、作成した窒化物半導体を大気中に取り出した。

【0056】

以上の工程により、GaNバッファ層を有するサファイア基板の上に、厚さ2μmからなるアンドープのGaN層、厚さ2μmからなるSiドープのn型GaN層、厚さ0.2μmからなるInGaNクラッド層、厚さ7nmからなる障壁層と厚さ3nmからなる井戸層を組み合わせた多重量子井戸構造の発光層、および厚さ150nmからなるp型GaN層が順次積層された本発明の窒化物半導体を得た。

【0057】

この半導体のSiドープのn型GaN層に負極を、p型GaN層に正極をそれぞれこの技術分野でよく知られた慣用の手段により設けて窒化物半導体発光素子を作成した。

【0058】

この発光素子に順方向で30mAの電流を流し、スタート時、20時間後および40時間後に逆耐圧(P-N接合を持つ発光素子に対し、逆方向に10μAの電流を流すために必要とする電圧の絶対値)を測定するエージングテストを行なった。その結果を図5に示す。図中、1~5が本実施例のサンプルである。40時間後でも逆耐圧の劣化は全く観察されなかった。

【0059】

また、電流20mAでの発光は、発光波長462nm、順方向電圧3.4mVおよび出力6.0mWであり、優れた発光効率を示した。

さらに、この発光素子に慣用の手段によりリード線を設け、また、蛍光体を有するカバーを設けることにより、発光ダイオード、レーザー素子およびランプを作製した。

【0060】

(実施例2)

In_{0.04}Ga_{0.96}Nからなるクラッド層の成長後すぐに昇温を始め、2分間掛けて1000℃まで昇温し、障壁層Bを形成して障壁層Aを形成しなかったこと以外は実施例1と同様に窒化物半導体および窒化物半導体発光素子を作成した。図2に本実施例に関わる量子井戸構造の温度の成長プロファイルを示す。

【0061】

図5中、6~10が本実施例のサンプルであり、実施例1と同様に40時間後でも逆耐圧の劣化は全く観察されなかった。

【0062】

また、電流20mAでの発光は、発光波長462nm、順方向電圧3.4mVおよび出力5.5mWであり、優れた発光効率を示した。

【0063】

(比較例1)

In_{0.04}Ga_{0.96}Nからなるクラッド層の成長までは実施例1と同じである。その後すぐに、キャリアガスとして窒素を使用してアンモニアおよびTEGを供給しつつ昇温を始め、2分間掛けて1000℃まで昇温し、アンドープのGaNからなる障壁層Bを形成し、障壁層Aは形成しなかった。次いで1000℃で9分間保持して障壁層Cを成長させた。

【0064】

次にTEGの供給を止め、基板1の温度を800℃まで降温し、障壁層Dは形成しなかった。800℃になった時点でTEGの供給を再開すると同時にTMIも供給して、3分間この温度に維持して、InGaNからなる量子井戸構造の最初の井戸層を成長させ、障

壁層Eは形成しなかった。

【0065】

その後TMIの供給を止めて1000℃まで昇温させ、障壁層2の障壁層Bを成長させた。同様の手順を5回繰り返すことで、井戸層5まで成長させた後、障壁層6を成長させ、多重量子井戸構造を作成した。原料ガスの流量および圧力は実施例1と同じである。図3に本比較例に関わる量子井戸構造の温度の成長プロファイルを示す。

【0066】

このようにして、5層の井戸層からなる量子井戸構造を形成し、その後p型のGaN層を形成して、窒化物半導体を作成した。この窒化物半導体に実施例1と同様に負極と正極を設けて窒化物半導体発光素子とした。

【0067】

実施例1と同様に、この窒化物半導体発光素子のエージングテストを行なった。その結果を図6に示す。図中、1～5が本比較例のサンプルである。この図から明らかとなり、20時間後には逆耐圧が大幅に劣化した。

【0068】

また、電流20mAでの発光は、発光波長463nm、順方向電圧3.5mVおよび出力3.0mWであった。

【0069】

(比較例2)

障壁層C形成後、1000℃から800℃に降温する際にもTEGの供給を続けて障壁層Dを形成すること以外は、比較例1と同様に窒化物半導体および窒化物半導体発光素子を作成した。図4に本比較例に関わる量子井戸構造の温度の成長プロファイルを示す。

【0070】

図6中、6～10が本比較例のサンプルであり、比較例1と同様に20時間後には逆耐圧が大幅に劣化した。また、電流20mAでの発光は、発光波長461nm、順方向電圧3.4mVおよび出力3.0mWであった。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明によって提供される窒化物半導体は発光素子用材料として有用であり、これを用いて得られた発光素子は、青色発光素子として各種インジケータ等の電子機器に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】実施例1における窒化物半導体発光層の量子井戸構造成長温度プロファイルを示す図である。

【図2】実施例2における窒化物半導体発光層の量子井戸構造成長温度プロファイルを示す図である。

【図3】比較例1における窒化物半導体発光層の量子井戸構造成長温度プロファイルを示す図である。

【図4】比較例2における窒化物半導体発光層の量子井戸構造成長温度プロファイルを示す図である。

【図5】実施例1および2におけるエージング結果を示す図である。

【図6】比較例1および2におけるエージング結果を示す図である。

【符号の説明】

【0073】

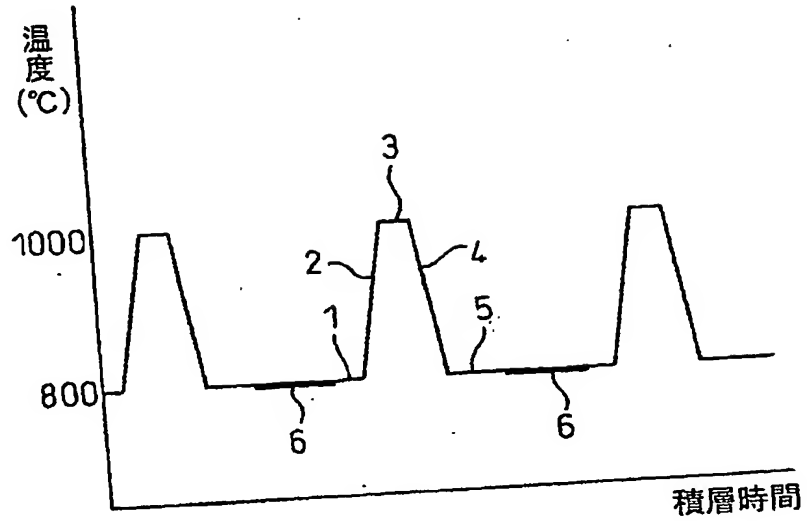
- 1…障壁層A
- 2…障壁層B
- 3…障壁層C
- 4…障壁層D
- 5…障壁層E

.6 ...井戸層

【書類名】
 【図 1】

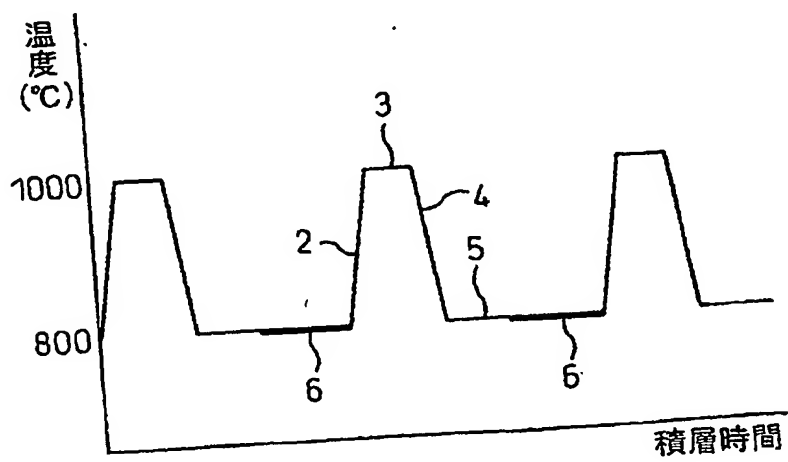
図面

図 1



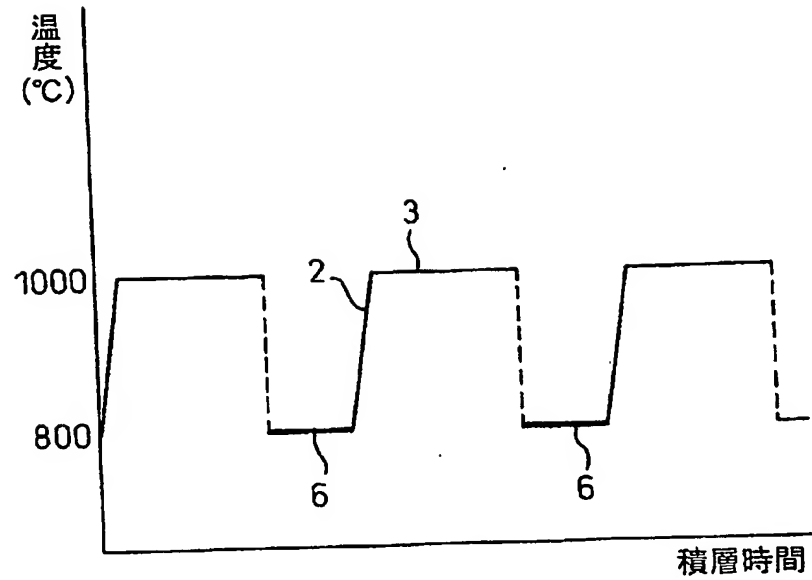
【図 2】

図 2



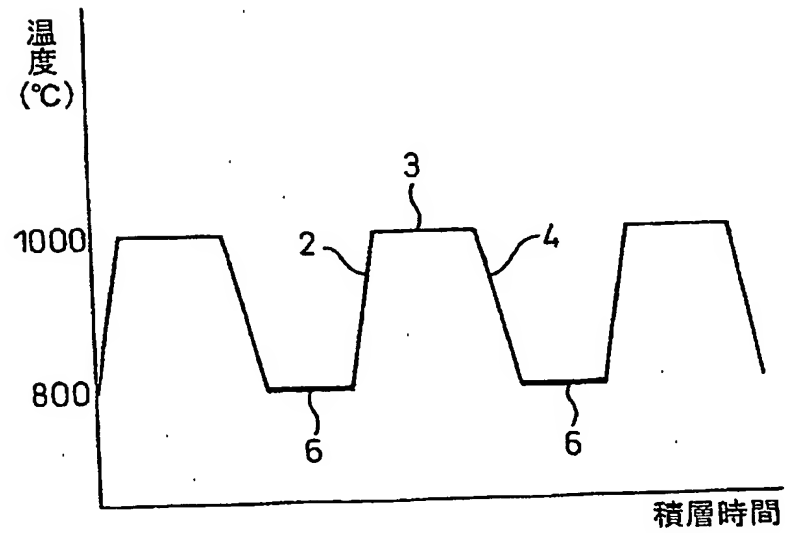
【図 3】

図 3



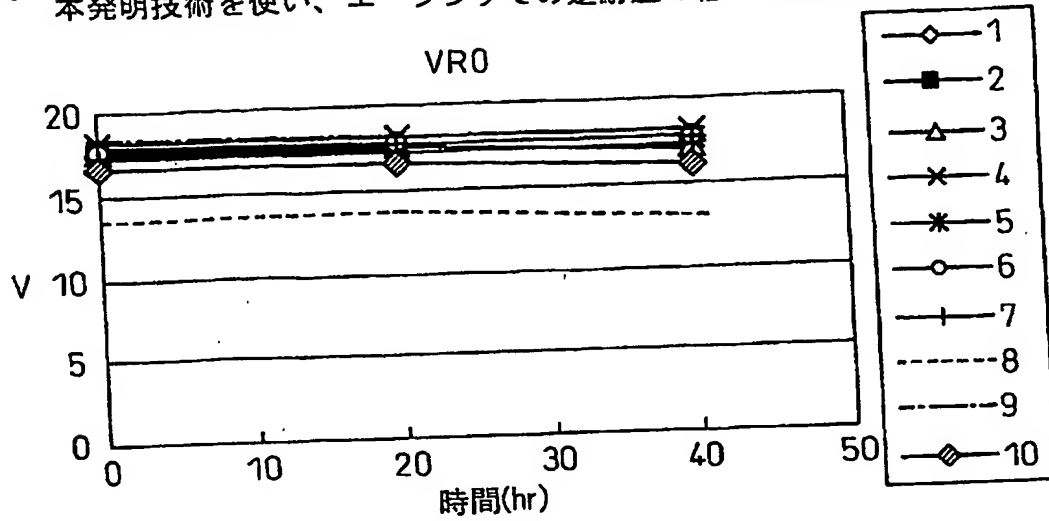
【図 4】

図 4



【図5】

図5 本発明技術を使い、エージングでの逆耐圧の低下が改善された例



【図6】

図6 従来技術を使用し、エージングにより逆耐圧が低下する例

